

УДК 628

В.Н. Борщов, докт.тех.наук,
А.М. Листратенко, канд. тех. наук,
В.А. Антонова, канд. тех. наук,
М.А. Проценко, ст. науч. сот.,
И.Т. Тымчук, ст. науч. сот.,
Я.Я. Костышин, ст. науч. сот.

СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВОЙ «CHIP ON FLEX» (COF) ТЕХНОЛОГИИ

1. Введение

Всемирная тенденция развития светодиодных источников света позволяет говорить о неуклонном росте интереса потребителей к твердотельным источникам освещения. В последние годы в Украине формируется рынок светотехнических изделий с использованием твердотельных источников света. Прежде всего, это обусловлено появлением на мировом рынке коммерчески доступных оптоэлектронных приборов (светодиодов) способных по интенсивности излучения составить конкуренцию традиционным источникам света, таким, как лампы накаливания и люминесцентные лампы. Ожидается, что в среднесрочной перспективе светодиодные системы заменят существующие лампы накаливания, люминесцентные и галогенные светильники в системах общего освещения и на объектах ЖКХ. Они позволят сократить энергопотребление на 70 %, исключить возможность загрязнения окружающей среды ртутью, содержащейся в люминесцентных лампах, повысить безопасность в работе (за счет использования сетей низкого напряжения) и снизить затраты на обслуживание. Светодиодные системы могут также эффективно использоваться в комбинации с системами бесперебойного питания и альтернативными источниками электроэнергии (солнечными батареями и ветровыми генераторами). Трудно точно посчитать в масштабах страны полученную выгоду за счет высвобождения сэкономленной электроэнергии, снижения расходов на ее потребление и сокращения затрат на замену недолговечных традиционных источников освещения, но очевидно, что она может быть очень значительной. По расчетам специалистов, замена в Украине 30 % ламп накаливания на светодиодные источники света предоставит возможность сэкономить около 13,8 млрд. кВт. ч. электроэнергии в год и снизить выброс в атмосферу на 7,8 млн. тонн углекислого газа [1].

Разработка и изготовление светодиодных модулей на гибких и гибко-жестких носителях быстро набирает темпы во всем мире следуя за ростом популярности изделий на их основе. Главными потребителями этой продукции являются, прежде всего, автомобильная промышленность, а также средства освещения в рекламных световых конструкциях, для маркировки направлений и контуров, например, лестниц, углов и т.д. Гибкий или гибко-жесткий светодиодный модуль представляет собой готовую к подключению подложку с теплоотводом, на которой установлены или только группы

светодиодов или группы светодиодов с драйверами, элементами стабилизации и защиты от перенапряжения. Сегодня потребители имеют возможность выбора между большим количеством производителей гибких и гибко-жестких светодиодных модулей, предлагающих широкий ассортимент светодиодной продукции в области от близкой ультрафиолетовой до дальней инфракрасной. Однако, в последнее время на рынке появилось очень много дешевой светодиодной продукции, из стран юго-восточной Азии. В большинстве случаев надежность этих изделий хуже, чем у известных мировых брендов таких как Nichia Corporation, Lumileds Lighting, Osram и др., цена продукции которых в настоящее время достаточно высока.[2, 3] Поэтому важным фактором развития светодиодного рынка является снижение стоимости люмена светового потока, что позволит значительно быстрее расширить сферы применения полупроводниковой светотехники в Украине.

Цель данной работы – разработка и обоснование новых конструктивно-технологических решений коммерчески привлекательных гибких и гибко-жестких сверхъярких мощных светодиодных модулей для отечественных осветительных устройств позволят привлечь внимание к светотехническим изделиям с использованием твердотельных источников света не только потребителей-«инноваторов» (на рынке эта группа потребителей составляет не более 5 %), но и потребителей-«консерваторов», которые на рынке составляют подавляющее большинство.

2. Преимущества использования СОФ-технологии на основе безадгезивных алюминий-полиимидных лакофольговых диэлектриков для светодиодных модулей

В современных технологиях изготовления гибких кабелей и плат применяются различные фольгированные диэлектрические материалы, такие как майлар, лавсан, полиэтилен, полипропилен, полиэстер, полиимид и др.

Гибкие коммутирующие элементы из фольгированных диэлектриков на основе лавсана, полиэтилена и т. д. менее дорогостоящие, но возможности монтажа компонентов на них ограничены. В этом случае монтаж компонентов осуществляется с помощью низкотемпературной пайки или с применением электропроводящих адгезивов. К сожалению, при обработке таких диэлектрических материалов не удалось в полной мере применить методы микроэлектронной технологии, основанной на принципе интегральной обработки материалов, и полностью исключить из технологического процесса изготовления гибких плат и кабелей механические операции формирования сквозных отверстий [4].

Только фольгированные полиимиды оказались практически незаменимыми для создания термостойких с высокой надежностью гибких и гибко-жестких коммутационных элементов и плат. Стабильность электрических и размерных характеристик полиимидной основы обуславливает высокую технологичность данного материала. Температурная стабильность и высокая термостойкость полиимидных гибких плат позволяет применять высокотемпературные (вплоть до 300°C) методы монтажа компонентов. К важнейшим характеристикам полиимидных пленок следует отнести:

- способность к однородному травлению в щелочных средах и возможность избирательного травления;
- стойкость к трению и высокую прочность на разрыв ($\sigma_p = 175$ МПа) [5–7];
- малую плотность ($\gamma = 1,42$ г/см³) [5–10];
- незначительное газовыделение [10];
- низкую диэлектрическую проницаемость ($\epsilon = 3,5$) [5–10];
- высокую радиационную стойкость ($5 \cdot 10^8$ рад [7] – 5000 Мрад [10]);
- широкий диапазон рабочих температур ($-200 \div +400$)°C [5–7, 9];
- высокую электрическую прочность (280–300 кВ/мм) [5–9].

Безадгезивные металл-полиимидные лакофольговые диэлектрики обладают значительными технологическими преимуществами. Эти преимущества заключаются в том, что они не содержат адгезивных прослоек между металлической фольгой и полиимидом, но обладают значительной силой сцепления между слоями фольги и полиимида. Они являются высокотехнологичными при фотографической обработке, групповом избирательном травлении сквозных отверстий в переходах и формировании элементов топологии. Наиболее важными характеристиками этих материалов являются: избирательность при химической обработке полиимида и алюминиевой фольги; эластичность и механическая прочность, высокая термостойкость ($+350^{\circ}\text{C}$) и холодостойкость (-196°C). [11]

Ввиду хорошей адаптивности к фотохимическому избирательному травлению алюминий-полиимидных безадгезивных структур используемый материал позволяет полностью исключить из техпроцессов изготовления гибких коммутирующих элементов применение механических операций сверления и фрезерования, заменяя их групповыми процессами, и, таким образом, сократить технологический цикл, снизить трудоемкость и, в конечном счете, уменьшить стоимость изготовления изделий. Кроме того, использование указанных материалов, делает целесообразным применение методов микроэлектронной технологии, которая включает использование жидких фоторезистов, обладающих высокой чувствительностью и разрешающей способностью; использование практически всех способов нанесения жидких фоторезистов (центрифугирование, погружение, пульверизация); сочетание позитивных и негативных фоторезистов; применение стеклянных и гибких пленочных фотошаблонов; применение установок с односторонним и двусторонним экспонированием; использование плазмохимической и ионноплазменной избирательной обработки материалов [4].

В настоящее время наиболее распространенными в электронной промышленности фольгированными диэлектриками являются медь-полиимидные материалы фирмы Dupont [11].

Безадгезивные алюминий-полиимидные лакофольговые диэлектрики также обладают всеми теми достоинствами, которыми обладают и безадгезивные медь-полиимидные материалы. Однако ряд их преимуществ по сравнению с медь-полиимидными диэлектриками позволил существенно расширить возможности COF-технологии на современном этапе. Прежде всего, алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью.

Несмотря на то, что алюминий по сравнению с медью обладает меньшей механической прочностью ($\sigma_{\text{pAl}} = (10 \div 40) \text{ кгс/мм}^2$; $\sigma_{\text{pCu}} = (16 \div 45) \text{ кгс/мм}^2$), меньшей теплопроводностью ($\lambda_{\text{ТАl}} = 268 \text{ Вт/(г}\cdot\text{К)}$; $\lambda_{\text{TCu}} = 385 \text{ Вт/(г}\cdot\text{К)}$), большим (в 1,6 раза) в сравнении с медью удельным электрическим сопротивлением ($\rho_{\text{Al}} = 0,028 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$; $\rho_{\text{Cu}} = 0,017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$), более важное значение имеет тот факт, что алюминий почти в 3,5 раза легче меди ($\gamma_{\text{Al}} = 2,7 \text{ г/см}^3$, $\gamma_{\text{Cu}} = 8,92 \text{ г/см}^3$). Благодаря малой плотности алюминия обеспечивается большая электрическая проводимость на единицу массы, то есть, при одинаковом номинале сопротивления и одинаковой длине алюминиевые проводники почти в два раза легче медных, несмотря на большее поперечное сечение. Таким образом, коммутирующие элементы на основе алюминий-полиимидных лакофольговых диэлектриков позволяют еще более минимизировать массу вещества в рабочем объеме [12].

Описанные выше достоинства безадгезивных алюминий-полиимидных пленочных материалов были использованы при создании коммутирующих элементов для гибких и гибко-жестких светодиодных модулей. Возможность формирования сквозных отверстий в слоях полиимида позволила отказаться от применения проволочного монтажа для соединения контактных площадок полупроводниковых светодиодных кри-

сталлов с выводами коммутирующих алюминий-полиимидных плат и осуществлять присоединение выводов непосредственно к контактным площадкам полупроводниковых светодиодных кристаллов с помощью ультразвуковой сварки через “окна” в полиимиде.

Алюминиевая COF-технология сборки легко адаптируется к существующему оборудованию ультразвуковой сварки. При этом сварка межэлементных соединений может выполняться как на ручных отечественных установках ультразвуковой сварки типа УС.ИММ – 1, так и с помощью автоматизированных установок ультразвуковой сварки типа FK DELVOTEC – 6400 и др. с применением рамочных носителей гибких плат типа TAB – 35 и TAB – 70.

1. Конструктивно-технологические решения гибко-жестких светодиодных модулей

Суть предлагаемой разработки заключается в том, что конструктивно светодиодные модули формируются на основе гибкого алюминий-полиимидного носителя, выполняющего одновременно функции гибкой основы, механического и электрического соединения светодиодных кристаллов, электрической изоляции токоведущих шин и выводов, эффективного теплоотвода и минирефлекторов, которые выполняются из алюминиевой фольги той же самой гибкой основы для каждого светодиодного кристалла отдельно (рис.1).

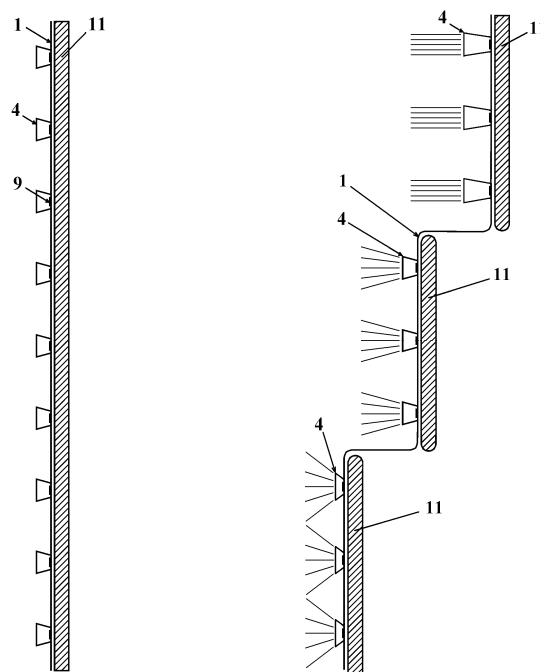


Рис. 1. Схематическое изображение сечения гибкого светодиодного модуля, установленного на различных вариантах поверхностей: 1 - гибкая коммутационная плата; 4 - светоизлучающий светодиодный прибор; 9 - кристалл светодиода; 11 - теплопроводящее основание

Кристаллы светодиодов устанавливаются на алюминиевые носители с помощью точечной ультразвуковой сварки. Это позволяет отказаться от клеевых соединений кристаллов светодиодов с гибкими платами, упростить технологию сборки, обеспечить высокую теплопроводность соединений и эффективный отвод тепла от кристаллов в процессе эксплуатации, согласовать работу материалов с различными ТКЛР и обеспечить высокую надежность работы и долговечность светодиодных модулей под воздействием большого количества термоциклов (включений-выключений).

Изготовление рефлекторов-коллиматоров для светодиодных кристаллов из разверток на коммутирующей гибкой плате и формирование в них первичных оптических систем из оптически прозрачных материалов обеспечивает повышение коэффициента заполнения светодиодных модулей, повышение интенсивности излучения светодиодных приборов и концентрации светового потока. Этот технический результат обеспечивается за счет того, что высокая теплопроводность сварных соединений и эффективный отвод тепла от каждого светодиодного кристалла позволяет значительно уменьшить значения теплового сопротивления между кристаллами светодиодов и теплоотводящим основанием, существенно улучшить температурные и оптические характеристики светодиодных приборов в предлагаемых гибких и гибко-жестких светодиодных модулях, что особенно важно для модулей с мощными светодиодными кристаллами (рис.2).

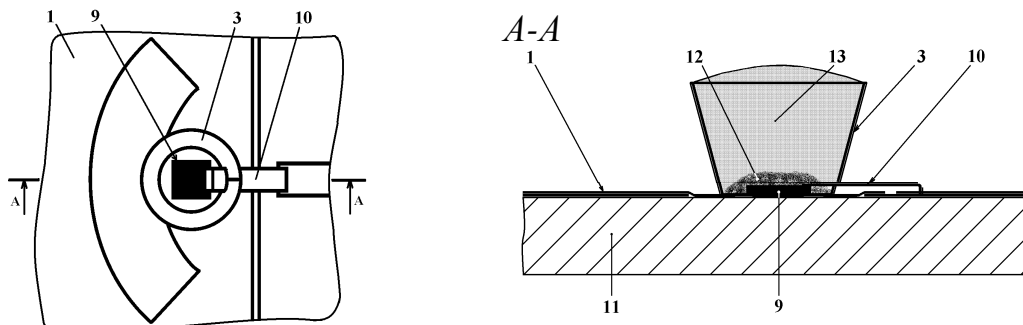


Рис.2.Фрагмент модуля со светоизлучающим светодиодным прибором: 1 - гибкая коммутирующая плата; 3 - рефлектор- коллиматор; 9 - кристалл светодиода; 10 - гибкий вывод коммутирующей платы к фронтальному электроду светодиодного кристалла; 11 - теплопроводящее основание; 12 – органический люминофор; 13 - оптически прозрачная кремнийорганическая композиция

Кроме того, разработанные конструктивы обеспечивают возможность изготовления рефлекторов-коллиматоров со значительно меньшей (3–4 раза) эффективной площадью светоизлучающей поверхности по сравнению с любыми аналогами светодиодных приборов для поверхностного монтажа, а также получать различные диаграммы направленности светового излучения, в том числе с малыми углами рассеивания световых потоков, что легко достигается заданной геометрией разверток для минирефлекторов-коллиматоров. Применение органических люминофоров и кремнийорганических композиций в первичной оптике светодиодных приборов позволяет формировать излучение белого света, а также обеспечить высокую температурную стабильность и долговечность за счет защиты светодиодных кристаллов от влаги и коррозии.

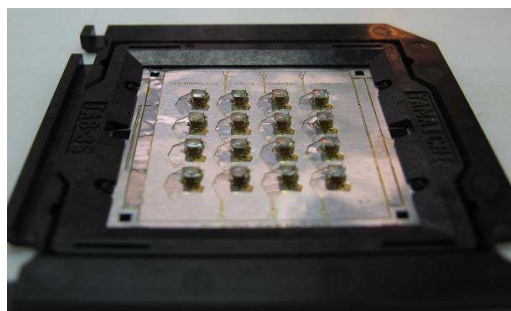


Рис. 3.Фотография гибкого светодиодного модуля в рамке ТАВ-70 для автоматизированной ультразвуковой сварки.

Фотография гибкого светодиодного модуля в рамке ТАВ-70 для автоматизированной ультразвуковой сварки показана на рис.3.

Заключение

Наш институт – Государственное предприятие Научно-исследовательский Технологический институт приборостроения (ГП НИТИП, г. Харьков, Украина) входит в структуру Национального космического агентства Украины (НКАУ) и специализируется в области космического приборостроения, а также разработки и изготовления солнечных батарей космического и наземного применения. ГП НИТИП имеет опыт участия в масштабных международных проектах. В течение последних десяти лет наше предприятие принимало участие в подготовке международного эксперимента ALICE (CERN, Швейцария) на базе нового тяжело-ионного ускорителя LHC (Большой Адронный Коллайдер), запуск которого был осуществлен в сентябре 2008 года. В частности для эксперимента ALICE были разработаны и изготовлены на уровне лучших мировых достижений микростриповые и дрейфовые детекторные модули, основанные на применении передовых технологий автоматизированного монтажа с использованием гибких алюминий-полиимидных лакофольговых диэлектриков. Накопленный нашим институтом опыт позволил разработать инновационные технологии, которым нет аналогов не только в СНГ, но и в Европе, в том числе:

- технологию изготовления кремниевых и арсенид-галлиевых солнечных модулей космического применения на алюминий-полиимидных гибких носителях;
- технологию изготовления миниатюрных одно- и многодетекторных модулей для медицинской томографии.

Опираясь на имеющийся опыт и существующую технологическую базу, ГП НИТИП готов принять участие в создании промышленного производства коммерчески доступных приборов полупроводниковой светотехники и светотехнической электроники с использованием кристаллов светодиодов, которые поставляются по импорту и, в будущем, отечественными производителями. К разработке предлагаются единичные светодиодные сверхъяркие мощные устройства белого цвета, а также кластеры (модули) состоящие из трех и более светодиодов на гибких носителях для осветителей общего освещения с питанием от сети переменного тока, которые предназначены для использования в жилищно-коммунальном хозяйстве и другого различного применения. Одиночные светодиодные устройства и светодиодные кластеры, что предлагаются к разработке, потенциально позволят создать новый ряд промышленных приборов полупроводниковой светотехники с энергетической эффективностью до 150 – 200 лм/Вт, но со значительно меньшей массой (3 ÷ 4 раза), эффективным теплоотводом (тепловое сопротивление кристалл – теплоотводящее основание, $2,5 \div 3$ °C/Вт), надежностью, значительным сроком эксплуатации (более 20 тыс. часов) и конкурентоспособной ценой.

Мы приглашаем светотехнические компании и компании, работающие в рекламном бизнесе и не имеющие своего микроэлектронного производства к сотрудничеству по разработке и производству серийных устройств полупроводниковой светотехники и светотехнической электроники на базе наших экономичных и надежных гибких алюминий-полиимидных светодиодных модулей.

Литература

1. Концепция Государственной целевой научно-технической программы «Разработка и внедрение энергосберегающих светодиодных источников света и осветительных систем на их основе», утвержденной распоряжением Кабинета Министров Украины от 9 апреля 2008 года.
2. Гвоздев-Карелин С.В., Хартманн Р. Светодиодные модули фирмы OSRAM // Светотехника. – 2002. – № 3. – С. 38 – 40.

3. Полищук А. «Прософт» формирует рынок полупроводниковой светотехники // Компоненты и технологии. – 2006. – № 7. – С. 14 – 16.
4. Пырченков В., Смирнов В. Гибкие микропечатные платы (Базовый технологический процесс). <http://www.ipmce.ru/articles/gibkie-microplaty/>. – 8с.
5. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры / Под ред. Я.С.Выгодского. – М.: Химия, 1984. – 1056 с.
6. Бессонова М.И., Котон М.М. Полиимиды – класс термостойких полимеров / Под ред. М.И. Бессоновой. – Л.: Наука, 1983. – 307 с.
7. Астахин В.В., Трезвов В.В., Суханов И.В. Электроизоляционные лаки, пленки и волокна. – М.: Химия, 1986. – 158 с.
8. Александрова Л.Г. Перспективные разработки в области гибких фольгированных диэлектриков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1995. – № 1. – С. 38 – 40.
9. Гончарова Т.С. Полиимидные пленки в качестве межслойных изолирующих и пассивирующих слоев ИС // Зарубежная электронная техника. – 1989. – №8 (339). – С.53-82.
10. ECSS-Q-70-71A Space product assurance. Data for selection of space materials and process. – P. 197.
11. www.dupont.com/fcm.
12. Н.В.Замирец, В.Н.Борщев, А.М.Листратенко, В.А.Антонова, Л.П.Семенов, М.А.Проценко, И.Т.Тымчук Алюминиевая «Chip on flex» (COF) технология в радиационном приборостроении // Технология приборостроения – 2007. – 2. – С.3 – 9.
13. Патент Украины на изобретение № 83968 от 26.08.2008 «Способ изготовления гибкого светодиодного модуля».

СВІТЛОДІОДНІ МОДУЛІ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЄВОЇ «CHIP ON FLEX» (COF) ТЕХНОЛОГІЇ

В.Н.Борщов, О.М. Лістратенко, В.А.Антонова,
М.А.Проценко, І.Т.Тимчук, Я.Я.Костишин

Запропоновано нові комерційно привабливі та конкурентно спроможні КТР гнучко-жорстких світлодіодних модулів на основі технології «кристал на гнучкій платі». Відзначено, що гнучкі алюміній-поліімідні плати дозволяють в процесі складання модулів застосувати безкорпусні світлодіодні кристали, автоматизовані процеси ультразвукового зварювання та забезпечити для потужних світло діодів зниження теплового опору «кристал-тепловідвід» до $2,5 \div 3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

LED MODULES ON THE BASIS OF ALUMINIUM «CHIP ON FLEX» (COF) TECHNIQUE

V.N. Borshchov, O.M. Listratenko, V.A. Antonova,
M.A. Protsenko, I.T. Tymchuk, Y. Y. Kostyshyn

Were proposed new commercially attractive and competitive design and technological solutions of flexible-rigid LED modules on the basis of, CHIP ON FLEX " technology. Mentioned, that flexible aluminium-polyimide boards allows to use LED chips, ultrasonic bonding automated processes and to ensure decrease of thermal resistance between LED chips and heat sink to $2,5 \div 3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ for powerful LEDs.